

ACOUSTIC ECHO CANCELLATION MENGGUNAKAN ALGORITMA NLMSRizal Ali Sahar^[1], Achmad Hidayatno ST, MT^[2], Darjat ST, MT^[2]

Conversation that occurs in phone device usually almost unclear to be heard even though voice quality is the most important things in sending information process. One of problems that disturbing the conversation is something that we called echo. Echo is a phenomenon where a sound is reflected by a reflector object such as wall, floor, etc and it is also take some delay time. In hands-free communication system, at source side, the acoustic echo can be occurred because the voice from loudspeaker also get into microphone so that the information signal that has been sent will be mixed with this echo.

Acoustic Echo Cancellation (AEC) is a method that will be implemented to clear this echo. AEC is built using adaptive filter with FIR filter structure. Echo is modeled as convolution result from input signal and room transfer function. Error signal that produced from this process will become weight component of NLMS adaptive algorithm to adapt the adaptive filter coefficient in order to minimize Mean Square Error (MSE).

The result of AEC simulation test in stepsize (μ) = 0.7 and filter length (L) = 1024 is 1.07395×10^{-5} for the best MSE value and 30.6194 dB ERLE value as the optimum result when using Mahmud voice in 1b type room. The lowest value for Ucik voice in 3b type room, the result is 4.25501×10^{-5} MSE value and 16.6402 dB ERLE value.

Keywords : echo, hands-free, adaptive filter, NLMS, MSE, ERLE

I. Pendahuluan**1.1 Latar Belakang Masalah**

Di zaman sekarang ini setiap orang menghendaki terjadinya komunikasi dengan orang lain berlangsung dengan cepat, handal dan murah. Salah satu piranti komunikasi yang sering digunakan adalah telepon. Namun seringkali percakapan yang terjadi dalam sebuah perangkat telepon terdengar tidak jelas. Padahal kualitas dari suara adalah hal yang paling penting dalam proses penyampaian informasi. Apabila sinyal informasi tidak jelas maka akan berakibat pada lamanya waktu percakapan sehingga akan menambah biaya atau bahkan dapat menyebabkan terjadinya kekeliruan penafsiran dalam menerima informasi. Gangguan ini dapat disebabkan oleh adanya *echo*.

Echo merupakan suatu fenomena yang mana sebuah bunyi dipantulkan kembali oleh sebuah objek pemantul (dinding, lantai atau objek lain) dengan mengalami tundaan. Fenomena ini juga dapat terjadi pada sistem komunikasi baik yang terjadi pada sumber ataupun pada jaringan telekomunikasi itu sendiri. Dalam sistem komunikasi *hands-free*, di sisi sumber dapat terjadi *echo* karena suara dari *loudspeaker* ikut masuk ke mikrofon sehingga sinyal informasi yang akan dikirim ke tujuan bercampur dengan *echo*.

Salah satu cara untuk mengatasi *echo* tersebut adalah dapat dilakukan dengan membuat lapisan kedap suara pada dinding-dinding ruangan. Namun hal itu akan menjadi tidak efektif apabila seseorang yang sedang berkomunikasi itu berpindah-pindah tempat. Dengan semakin majunya perkembangan teknologi dalam bidang pengolahan sinyal digital maka masalah tersebut dapat diatasi menggunakan tapis adaptif.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari pembuatan Tugas Akhir ini adalah membuat sistem *Acoustic Echo Cancellation* (AEC) yaitu sistem yang mampu menekan *echo* yang terjadi pada sisi sumber itu sendiri sehingga diharapkan sinyal informasi yang akan dikirimkan sudah tidak mengandung *echo*.

1.3 Batasan Masalah

Agar tidak menyimpang jauh dari permasalahan, maka Tugas Akhir ini mempunyai batasan masalah sebagai berikut.

1. Sistem hanya menekan *echo* pada perangkat telepon yaitu sisi sumber atau tujuan saja, tidak pada jaringan atau media transmisinya.
2. Sinyal yang berasal sumber dianggap sebagai sinyal informasi, dengan mengabaikan adanya derau.
3. Sistem menggunakan tapis FIR dengan algoritma NLMS.
4. Percakapan yang berlangsung selama proses komunikasi dilakukan secara bergantian (tidak terjadi *doubletalk*).
5. Sistem ini menggunakan alat bantu program Matlab 7.1.

II. DASAR TEORI**2.1 TAPIS DIGITAL**

Tapis digital adalah algoritma matematika yang diimplementasikan ke dalam perangkat keras atau perangkat lunak, yang mengolah sinyal masukan dalam bentuk digital menjadi keluaran sesuai dengan perancangan yang digunakan^[4].

Tapis FIR (*Finite Impulse Response*) adalah salah satu jenis tapis digital dan merupakan tapis yang mempunyai tanggapan impuls yang

¹ Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP² Dosen Teknik Elektro UNDIP

berhingga. Kondisi ini berlawanan dengan tapis IIR (*Infinite Impulse Response*) yang mempunyai tanggapan impuls tidak terhingga^[5]. Beberapa kelebihan tapis FIR antara lain dapat memiliki tanggapan fase yang benar-benar linear dan sifatnya selalu stabil. Karakteristik tapis FIR adalah menurut persamaan sebagai berikut^[4].

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(n-k) \quad (2.1)$$

$$H(z) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)z^{-k} \quad (2.2)$$

dengan

$x(n)$ = sinyal masukan

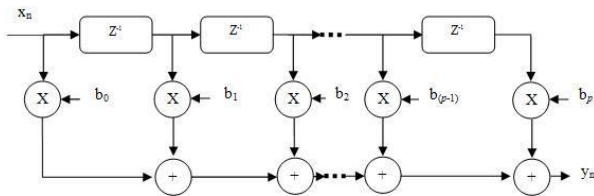
$y(n)$ = sinyal keluaran

$h(k)$ = koefisien tanggapan tapis

$H(z)$ = fungsi sistem

N = panjang tapis

Blok diagram tapis yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut ini. Sinyal $x(n)$ merupakan masukan dari tapis dan sinyal $y(n)$ merupakan keluaran.

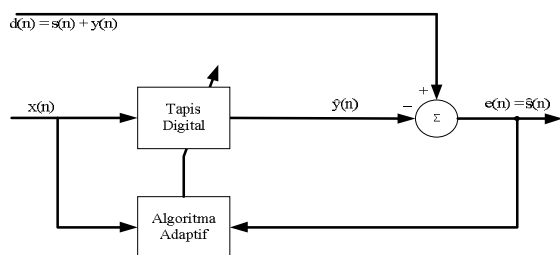


Gambar 2.1 Struktur model tapis transversal FIR

2.2 SISTEM ADAPTIF

Sistem adaptif adalah sistem yang mampu menyesuaikan dan beradaptasi langsung dengan setiap perubahan yang terjadi di lingkungan sekitar maupun dengan perubahan kondisi yang terjadi pada sistem itu sendiri.

Salah satu contoh dari sistem adaptif adalah tapis adaptif. Tapis adaptif terdiri dari dua bagian yaitu tapis digital yang memiliki koefisien yang dapat diubah dan suatu algoritma adaptif yang digunakan untuk mengubah atau memperbaharui koefisien dari tapis digital tersebut^[4].



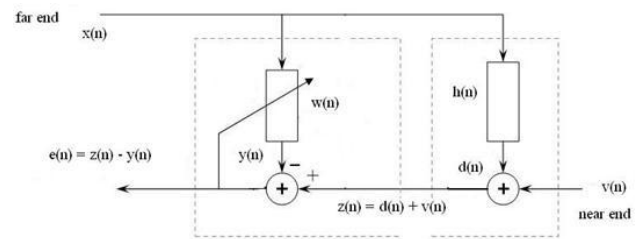
Gambar 2.2 Blok diagram tapis adaptif pada sistem penekan derau

2.3 ACOUSTIC ECHO CANCELLATION (AEC)

Echo merupakan suatu peristiwa dimana sebuah bunyi atau sinyal elektrik dipantulkan kembali ke sumber tetapi dengan mengalami tundaan. *Echo* dari sebuah ucapan yang terdengar dapat terjadi karena dipantulkan kembali oleh sebuah lantai, dinding atau objek yang berada di sekelilingnya^[7].

Echo dalam jaringan telekomunikasi secara umum dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis yaitu *acoustic echo* dan *electrical echo*. *Acoustic echo* terjadi ketika ucapan dari pengirim (*far end*) yang keluar melalui *loudspeaker* di sisi penerima (*near end*) ikut masuk ke mikrofon sehingga sisi pengirim juga akan mendengar ucapannya sendiri. Sedangkan *electrical echo* atau yang lebih sering disebut *hybrid* atau *line echo* merupakan masalah yang tidak dapat dipisahkan dari PSTN (*Public Switching Telephone Network*), *echo* ini terjadi akibat adanya penggunaan 2 kawat koneksi antara pelanggan dengan sentral.

2.4 ALGORITMA AEC



Gambar 2.3 Blok diagram AEC

Sinyal $x(n)$ merupakan masukan yaitu sinyal *far end*, $v(n)$ adalah sinyal *near end*, $d(n)$ adalah sinyal *echo far end* dan $h(n)$ adalah fungsi alih ruangan *echo*. Sinyal *echo far end* dapat dimodelkan sebagai hasil konvolusi $x(n)$ dengan $h(n)$. Sedangkan estimasi sinyal *echo* yang dihasilkan oleh tapis $w(n)$ adalah $y(n)$. Prinsip kerja dari tapis adaptif di sini adalah menghasilkan sinyal *echo* tiruan yang sebelumnya telah diadaptasi dari sinyal masukannya. Kemudian sinyal *echo* tiruan ini dikurangkan dengan sinyal *echo* dan selisih yang terjadi disebut galat. Galat ini diumpunkan ke tapis adaptif untuk dapat diadaptasi dengan harapan selanjutnya akan diperoleh galat seminimal mungkin.

Sinyal yang akan dikirim kembali ke pengucap *far end* adalah

$$z(n) = d(n) + v(n) \quad (2.3)$$

dan galatnya adalah

$$e(n) = z(n) - y(n) \quad (2.4)$$

$$= v(n) + d(n) - y(n) \quad (2.5)$$

2.4.1 ALGORITMA NLMS

NLMS adalah bentuk lain dari algoritma LMS, yang menggunakan nilai *stepsize* $\mu(n)$ yang berbeda untuk setiap iterasinya. Nilai $\mu(n)$ ini berbanding terbalik dengan nilai energi total dari sinyal masukan $x(n)$. Algoritma NLMS dapat dituliskan sebagai berikut.

1. Menghitung keluaran dari tapis adaptif.

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} w(n)x(n) = w^T(n)x(n) \quad (2.6)$$

2. menghitung galat.

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (2.7)$$

3. memperbaharui nilai koefisien bobot tapis untuk iterasi berikutnya.

$$w(n+1) = w(n) + 2\mu(n)e(n)x(n) \quad (2.8)$$

$$\mu(n) = \frac{\mu}{\gamma + x^T(n)x(n)} \quad (2.9)$$

Parameter γ ditambahkan untuk mengantisipasi jika masukannya sama dengan nol dan μ adalah konstanta yang besarnya $0 < \mu \leq 2$.

2.4.2 ECHO RETURN TO LOSS ENHANCEMENT (ERLE)

ERLE merupakan hal yang paling penting untuk mengukur seberapa banyak *echo* yang ditekan oleh AEC dan diukur dalam dB. ERLE didefinisikan sebagai perbandingan daya sinyal *echo* dengan sisa sinyal *echo* setelah penapisan. Besarnya nilai ERLE bergantung pada ukuran tapis adaptif yang digunakan dan algoritma yang dirancang. Semakin tinggi nilai ERLE maka kerja AEC semakin baik^[11].

$$ERLE \text{ (dB)} = 10 \log \left(\frac{P_d}{P_e} \right) \quad (2.10)$$

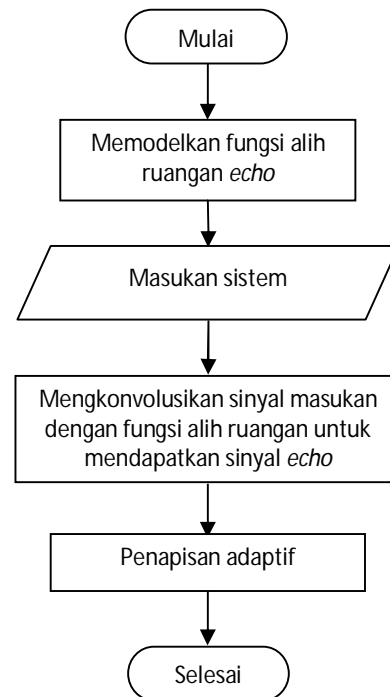
dengan

P_d = daya sinyal *echo* yang masuk mikrofon
 P_e = sisa sinyal *echo* setelah penapisan

III. PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK

Sistem AEC ini diwujudkan ke dalam suatu perangkat lunak (program) menggunakan bahasa pemrograman Matlab 7.1. Secara umum

pembuatan program simulasi ini mengikuti alur sesuai yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.

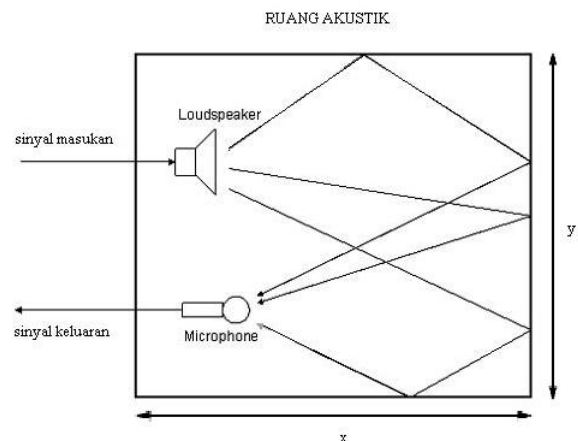


Gambar 3.1 Diagram Alir Sistem AEC

Pembuatan program simulasi AEC dibagi menjadi 4 tahap, tahap pertama adalah memodelkan fungsi alih ruangan *echo*, tahap kedua adalah masukan sistem yang berupa sinyal suara *far end*, tahap ketiga adalah mengkonvolusikan sinyal masukan dengan fungsi alih ruangan untuk mendapatkan sinyal *echo* dan tahap keempat adalah proses menekan *echo* dengan tapis adaptif.

3.1 Pemodelan Fungsi Alih Ruangan Echo

Pada tahap ini akan dimodelkan ruangan dengan 4 tipe yang masing-masing memiliki dimensi dan koefisien pantul yang berbeda-beda.



Gambar 3.2 Model ruangan *echo*

Tabel 3.1 Model ruangan *echo*

No	Model	Koefisien pantulan	Dimensi ruangan (x;y;z)	Posisi loudspeaker (x1;y1;z1)	Posisi mikrofon (x2;y2;z2)
1	Tipe 1a	0,5	4 ; 4 ; 2	2 ; 1,75 ; 0,5	2 ; 2,25 ; 0,5
2	Tipe 1b	0,7	4 ; 4 ; 2	2 ; 1,75 ; 0,5	2 ; 2,25 ; 0,5
3	Tipe 2a	0,5	10 ; 10 ; 5	5 ; 4,75 ; 0,5	5 ; 5,25 ; 0,5
4	Tipe 2b	0,7	10 ; 10 ; 5	5 ; 4,75 ; 0,5	5 ; 5,25 ; 0,5
5	Tipe 3a	0,5	20 ; 20 ; 10	10 ; 9,75 ; 0,5	10 ; 10,25 ; 0,5
6	Tipe 3b	0,7	20 ; 20 ; 10	10 ; 9,75 ; 0,5	10 ; 10,25 ; 0,5

Keterangan : x, y dan z diukur dalam meter

3.2 Masukan Sistem

Masukan sistem adalah sinyal suara yang telah direkam sebelumnya menggunakan mikrofon dengan format **wav** dan dengan frekuensi cuplik 8 kHz mono.

3.3 Sinyal *Echo*

Sinyal *echo* diperoleh dari hasil konvolusi antara sinyal masukan dengan fungsi alih ruangan *echo*. Fungsi alih ruangan yang telah dirancang disimpan dalam file ***.mat**.

3.4 Penapisan Adaptif

Pada proses ini akan dilakukan penapisan terhadap sinyal *echo* yang terjadi menggunakan algoritma NLMS. Variabel-variabel tapis yang digunakan adalah panjang tapis (L), *stepsize* (μ) dan *offset* (γ) yang ditambahkan untuk mengantisipasi bila masukannya sama dengan nol.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dibagi dalam dua jenis penelitian yaitu :

1. Pengujian untuk sinyal masukan dengan jumlah ucapan yang sama tetapi durasinya berbeda.
2. Pengujian sinyal masukan dengan jumlah ucapan yang berbeda tetapi durasinya sama.

4.1 Pengujian untuk sinyal masukan dengan jumlah ucapan yang sama tetapi durasinya berbeda

Pada pengujian ini akan divariasikan ke dalam 2 macam sinyal masukan yaitu untuk sinyal suara masukan dengan durasi 6 dan 10 detik. Hasil pengujian akan diperlihatkan pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Pengujian untuk jumlah ucapan yang sama dengan durasi 6 detik

No	Suara	Ruang <i>echo</i>	μ	Panjang tapis	MSE ($\times 10^{-4}$)	ERLE (dB) rata-rata
1.	rijal1	Tipe 2a	0,07	128	1,2329	15,2701
				256	1,03308	16,7346
				512	1,2854	17,5531
				1024	1,98783	16,5977
			0,1	128	1,04972	16,0568
				256	0,797819	17,599
				512	0,909161	18,6379
				1024	1,46885	17,5391
			0,4	128	0,736729	18,9458
				256	0,404148	21,0208
				512	0,272619	22,9504
				1024	0,481683	21,1695
			0,7	128	0,743079	19,4761
				256	0,364676	21,9794
				512	0,207847	24,597
				1024	0,389586	21,8882
2.	rijal1	Tipe 2b	0,07	128	5,79605	9,78875
				256	4,1433	10,9913
				512	2,22972	13,1109
				1024	2,49728	14,9424
			0,1	128	5,44969	10,3451
				256	3,94289	11,5468
				512	1,75818	13,8253
				1024	1,86685	15,8661
			0,4	128	4,83792	12,5912
				256	3,5134	13,9291
				512	0,915187	16,7248
				1024	0,644548	19,4747
			0,7	128	4,9859	13,0106
				256	3,4096	14,6813
				512	0,838133	17,673
				1024	0,529007	20,3688

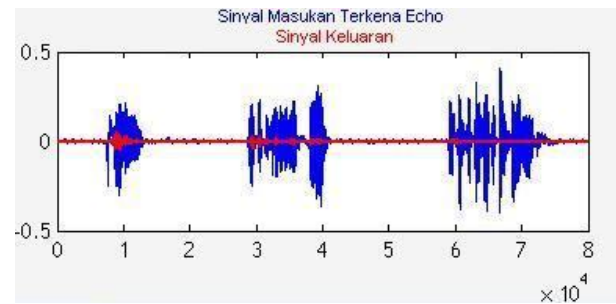
Hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh data secara umum bahwa dalam satu tipe ruangan *echo* yang sama jika *stepsize* dan panjang tapis semakin besar maka diperoleh nilai ERLE yang semakin besar dan nilai MSE semakin berkurang. Hal ini disebabkan karena proses untuk menyesuaikan bobot dari tapis tersebut berlangsung lebih cepat dan iterasi yang digunakan untuk setiap data masukan lebih banyak. Sehingga nilai pendekatan dari *echo* yang dihasilkan oleh tapis lebih mendekati nilai *echo* sinyal suara masukan. Sedangkan untuk tipe *echo* yang semakin kuat maka diperoleh nilai MSE yang semakin besar dan ERLE semakin berkurang.

Tabel 4.2 Pengujian untuk jumlah ucapan yang sama dengan durasi 10 detik

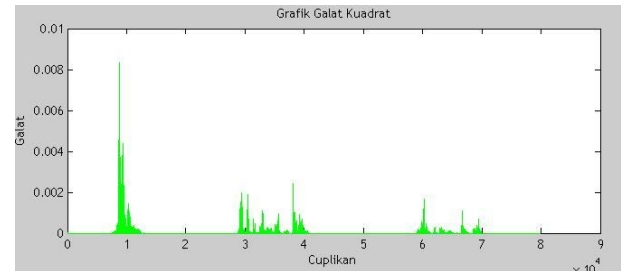
No	Suara	Ruang <i>echo</i>	μ	Panjang tapis	MSE ($\times 10^{-4}$)	ERLE (dB) rata-rata
1.	rijal2	Tipe 2a	0,07	128	0,645181	16,6327
				256	0,474196	18,1981
				512	0,589229	18,9205
				1024	0,984379	17,9276
			0,1	128	0,561647	17,3389
				256	0,366399	19,0519
				512	0,398344	19,9945
				1024	0,699673	18,8732
			0,4	128	0,423775	19,7112
				256	0,193303	22,4948
				512	0,091984	24,5093
				1024	0,184351	22,7764
			0,7	128	0,426072	20,1317
				256	0,178689	23,4279
				512	0,066277	26,2169
				1024	0,132025	24,0542
2.	rijal2	Tipe 2b	0,07	128	3,38324	11,3857
				256	2,31461	12,6682
				512	1,13584	14,6563
				1024	1,2493	16,7316
			0,1	128	3,20008	11,9116
				256	2,22919	13,1938
				512	0,88725	15,3591
				1024	0,899337	17,6133
			0,4	128	2,87308	13,9462
				256	2,02372	15,4008
				512	0,462148	18,2507
				1024	0,256303	21,289
			0,7	128	2,92397	14,2752
				256	1,97479	16,0621
				512	0,441022	19,0648
				1024	0,193564	22,4768

Berdasarkan data dari Tabel 4.1 dan 4.2 untuk jumlah ucapan yang sama, semakin panjang durasi semakin kecil pula nilai MSE yang diperoleh dan ERLE semakin besar. Hal ini juga disebabkan karena nilai-nilai tersebut merupakan nilai rata-rata sehingga untuk durasi yang semakin panjang maka banyaknya sinyal cuplikan dari masukan juga semakin banyak.

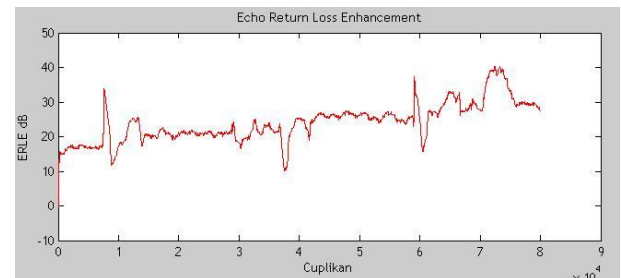
Berikut ini adalah grafik sinyal masukan, sinyal keluaran, galat kuadrat dan ERLE untuk sinyal masukan rijal2 (dengan durasi waktu 10 detik) untuk ruangan *echo* Tipe 2a pada saat panjang tapisnya 1024 dan $\mu = 0,7$.



Gambar 4.1 Sinyal masukan terkena *echo* dan keluaran



Gambar 4.2 Grafik galat kuadrat



Gambar 4.3 Grafik ERLE

Berdasarkan Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa pada akhir konvergensi nilai ERLE mencapai lebih dari 20 dB dan nilai rata-ratanya adalah 24,0542 dB. Jadi untuk sinyal masukan dengan jumlah ucapan yang sama, semakin panjang durasi diperoleh nilai rata-rata ERLE yang semakin besar dan MSE yang semakin kecil.

4.1 Pengujian untuk sinyal masukan dengan jumlah ucapan yang berbeda tetapi durasinya sama

Dalam pengujian ini akan digunakan data suara dari 3 responden yang masing-masing berdurasi 14 detik.

Tabel 4.3 Pengujian untuk sinyal masukan dengan jumlah ucapan berbeda

Tabel 4.3 Pengujian untuk sinyal masukan dengan jumlah ucapan berbeda (lanjutan)

Ruangan <i>echo</i>	Suara	MSE ($\times 10^{-4}$)	ERLE (dB) rata-rata
Tipe 1a	wike	0,0259142	26,7815
	mahmud	0,0461665	29,4651
	ucik	0,0997318	29,5619
Tipe 1b	wike	0,0396483	28,2354
	mahmud	0,107395	30,6194
	ucik	0,194796	30,0086
Tipe 2a	wike	0,0235773	26,4899
	mahmud	0,0409515	28,4687
	ucik	0,0687836	30,1036

Ruangan <i>echo</i>	Suara	MSE ($\times 10^{-4}$)	ERLE (dB) rata-rata
Tipe 2b	wike	0,052749	23,2812
	mahmud	0,148378	23,1492
	ucik	0,183433	21,9994
Tipe 3a	wike	0,0255438	25,5887
	mahmud	0,0465158	26,1515
	ucik	0,0878037	25,9405
Tipe 3b	wike	0,0816767	20,3278
	mahmud	0,367406	18,2536
	ucik	0,425501	16,6402

Dalam satu tipe *echo* untuk tapis yang sama, tampak bahwa semakin banyak jumlah ucapan maka MSE yang diperoleh semakin bertambah pula karena dengan semakin banyaknya jumlah ucapan berarti yang akan diproses semakin banyak sehingga apabila terjadi galat juga semakin banyak sedangkan nilai ERLE yang diperoleh tidak dapat dibandingkan. Namun dalam tipe *echo* yang berbeda diperoleh hasil bahwa semakin kuat *echo* maka MSE semakin bertambah dan ERLE semakin berkurang.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut.

1. Nilai MSE dan ERLE mengindikasikan tingkat keberhasilan penapisan, semakin kecil MSE dan semakin besar ERLE maka kinerja sistem semakin baik.
2. Semakin besar panjang tapis diperoleh MSE yang semakin kecil dan ERLE semakin besar.
3. Proses adaptif juga sangat dipengaruhi oleh karakteristik sinyal suara masukan.
4. Untuk sinyal suara masukan dengan efek *echo* yang semakin kuat maka diperoleh hasil MSE yang semakin besar serta ERLE yang semakin kecil.
5. Untuk sinyal masukan dengan durasi yang lebih panjang diperoleh MSE yang semakin kecil dan ERLE semakin besar.
6. Untuk sinyal masukan dengan jumlah ucapan yang lebih banyak akan diperoleh MSE yang lebih besar karena yang akan diproses jumlahnya semakin banyak sehingga apabila terjadi galat juga semakin banyak.
7. Untuk semua sinyal masukan dengan berbagai macam tipe ruang *echo* diperoleh hasil yang optimum pada saat panjang tapis 1024 dan *stepsize* 0,7.
8. Diperoleh nilai terbaik yaitu MSE sebesar $1,07395 \times 10^{-5}$ dan ERLE sebesar 30,6194 dB untuk sinyal masukan mahmud dengan ruangan Tipe 1b.

9. Diperoleh nilai terendah untuk sinyal masukan ucik dengan ruangan Tipe 3b yaitu MSE sebesar $4,25501 \times 10^{-5}$ dan ERLE sebesar 16,6402 dB.

5.2 Saran

1. Sistem AEC ini dapat dikembangkan dengan menggunakan algoritma yang lain agar diperoleh kinerja yang lebih baik.
2. Sistem AEC ini dapat dikembangkan untuk komunikasi banyak kanal.
3. Sebaiknya diperbanyak ragam untuk ruangan *echo*.
4. Mempertimbangkan apabila terjadi *doubletalk*.
5. Perlu diimplementasikan secara waktu nyata menggunakan perangkat keras *Digital Signal Processor*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bayhaki, A., *Penekanan Derau secara Adaptif pada Pengenalan Ucapan Kata*, Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2006.
- [2] Haykins, S., *Adaptive Filter Theory : Second Edition*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1991.
- [3] Hutson, M. *Acoustic Echo Cancellation Using Digital Signal Processing*, <http://innovexpo.itee.uq.edu.au/2003/exhibits/s365914/thesis.pdf>, September 2008.
- [4] Ifeachor, E.C., and Jervis, B.W., *Digital Signal Processing: A Practical Approach*, Addison-Wesley Publishing Company Inc., Wokingham, England, 1993.
- [5] Kuc, R., *Introduction to Digital Signal Processing*, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1988
- [6] Lulu, *Implementation of Acoustic Echo Cancellation For PC Applications Using MATLAB*, <http://web.it.kth.se/~axel/papers/2007/MSc-lu-lu.pdf>, September 2008.
- [7] Raghavendran, S. *Implementation of an Acoustic Echo Canceller Using Matlab*. 2003, <http://purl.fcla.edu/fcla/etd/SFE0000169>, September 2008.
- [8] Sudarmono, B., *Penggunaan Tapis Adaptif Dalam Proses Editing Suara Pada Pembuatan Film Layar Lebar*, Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2008.
- [9] ---, *Acoustic Echo Cancellation*, <http://server.electro.dtu.dk/31611/>

- [Exercises/31611.lab.4.pdf](#), September 2008.
- [10] ---, <http://www.dsp-fpga.com/pdfs/Altera.Spr00.pdf>, Januari 2009.
- [11] ---, <http://www.ieindia.org/pdf/88/88ET112.pdf>, Januari 2009.



Rizal Ali Sahar, lahir di Batang, 28 Desember 1986. Telah menempuh pendidikan dasar di MI 01 Kebondalem, SLTP 1 Gringsing dan SMA 1 Weleri. Sekarang sedang menempuh pendidikan strata satu di Universitas Diponegoro Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro konsentrasi Elektronika dan Telekomunikasi

Menyetujui dan Mengesahkan,
Pembimbing I,

Achmad Hidayatno, S.T., M.T.
NIP. 132 137 933
Tanggal :

Pembimbing II,

Darjat, S.T., M.T.
NIP. 132 231 135
Tanggal :

BIOGRAFI